

Grundlagen der Lebenszyklusanalyse

- Ein Instrument zur quantitativen Bewertung von
Umweltauswirkungen in der Industrie

Tutorial 6. Stuttgarter Energie Speicher Symposium am 21.02.2017

Jens Buchgeister (TT-STB)



Wissen für Morgen



Gliederung

- Einführung
- Lebenszyklusansatz - Was ist das?
 - Aufbau und Vorgehensweise
 - Abschätzung von Umweltwirkungen
 - Anwendungsbeispiel aus der Industrie
 - Vergleich von Nitrocarburierungsverfahren
 - Grenzen der Methode
- Zusammenfassung



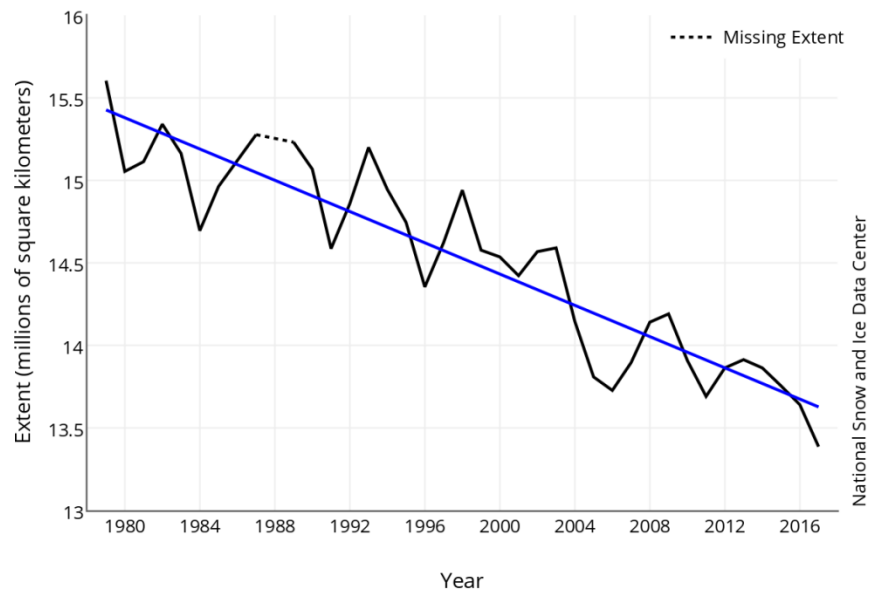
Einführung



Einführung

Durchschnittliche monatliche Eisfläche des Arktischen Meeres

January 1979 - 2017

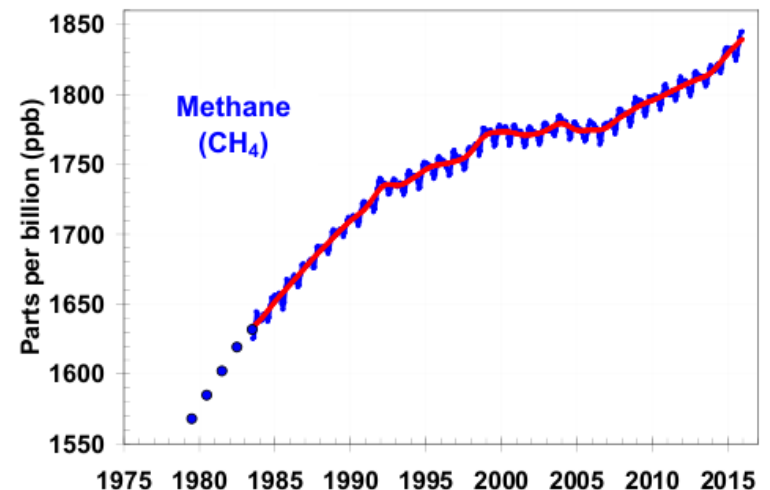
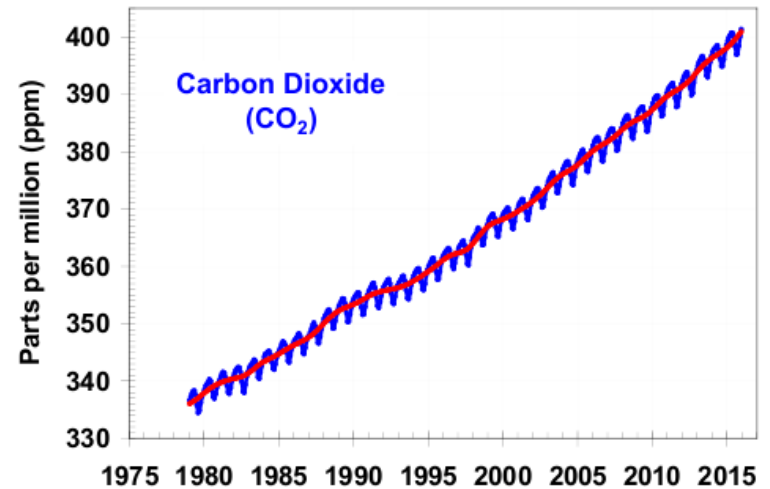


Quelle: National Snow and Ice Data Center (NSIDC)

<https://nsidc.org/arcticseaicenews/>

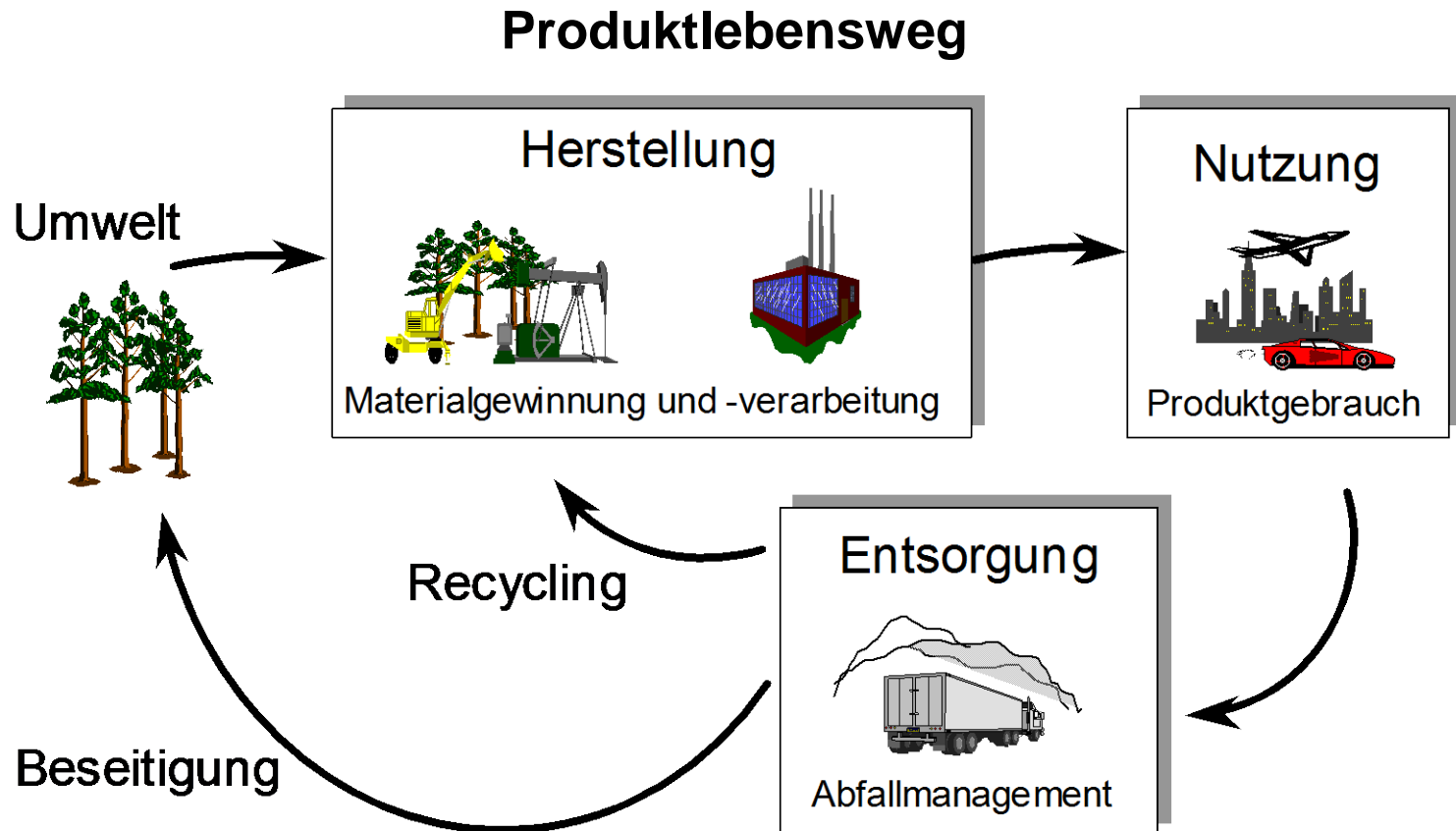


Atmosphärische Konzentration der Treibhausgase CO₂ und CH₄



Quelle: National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/>

Der Lebenszyklusansatz (engl. Life Cycle Assessment)



- Lebenszyklusansatz unterliegt der Normung (DIN ISO 14040 u. 14044)

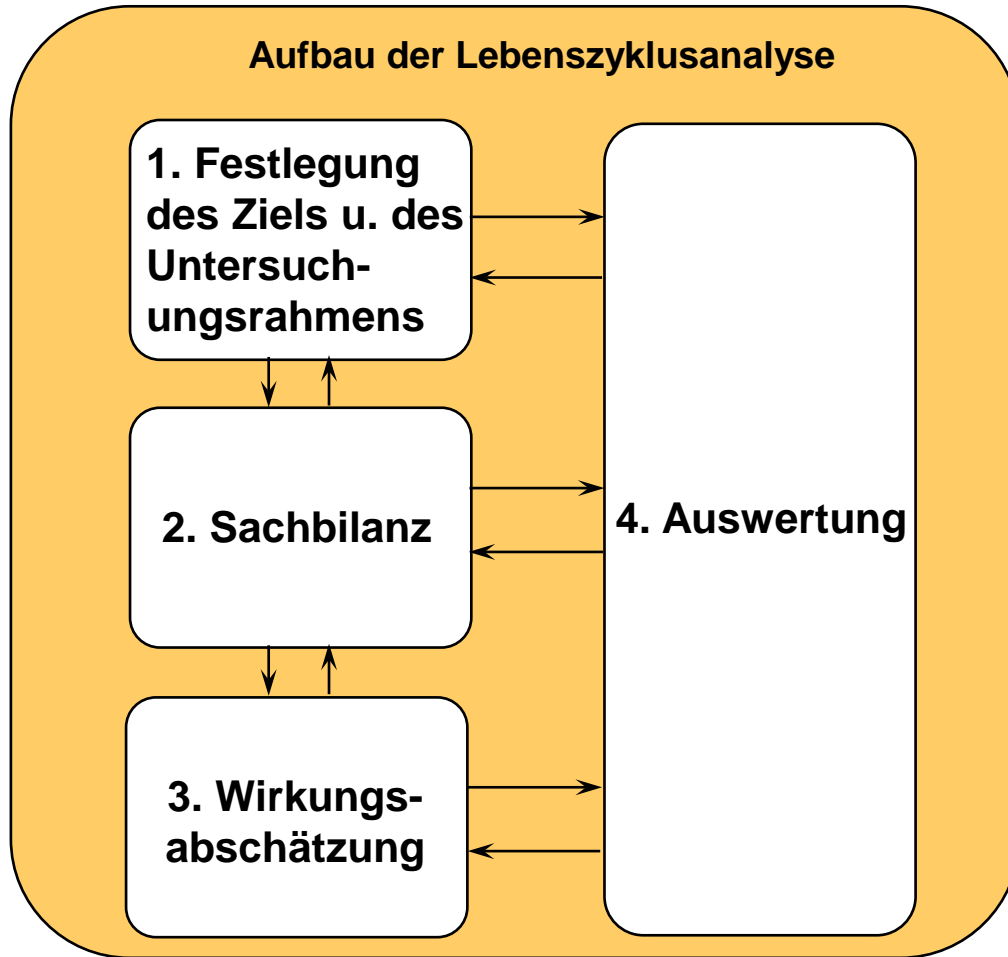


Sinn und Zweck der Lebenszyklusanalyse

- Möglichst umfassende quantitative Erfassung der Umweltauswirkungen von Produkten, Prozessen, Dienstleistungen unter Betrachtung des gesamten Lebenswegs
- Aufzeigen von Potentialen zur Verbesserung der Umwelteigenschaften von Produkten, Verfahren, Dienstleistungen oder des Unternehmens(standortes) auch in der frühen Phase der Entwicklung (Schwachstellenanalyse)
- Unternehmensübergreifender Ansatz und umweltmedienübergreifende Betrachtung
 - D.h. Zielkonflikte Aufdecken: Vorteile an einer Stelle werden ggf. durch Nachteile an einer anderen Stelle erkaufte
- Über die Schwachstellenanalyse sind in vielen Fällen gemeinsame ökonomische Zielsetzungen verbunden (Energie- und Materialeinsatzkosten)
- Transparenz und Objektivierung durch modulares Vorgehen in den Phasen Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung



Lebenszyklusanalyse bzw. Life Cycle Assessment - DIN ISO 14040 und 14044



Funktionen bzw. Nutzen eines Produktsystems

Definition der Produktfunktion/Nutzen:
Z.B. die Trocknung von nassen Händen

a) Papierhandtücher



b) Elektrischer Lufttrockner

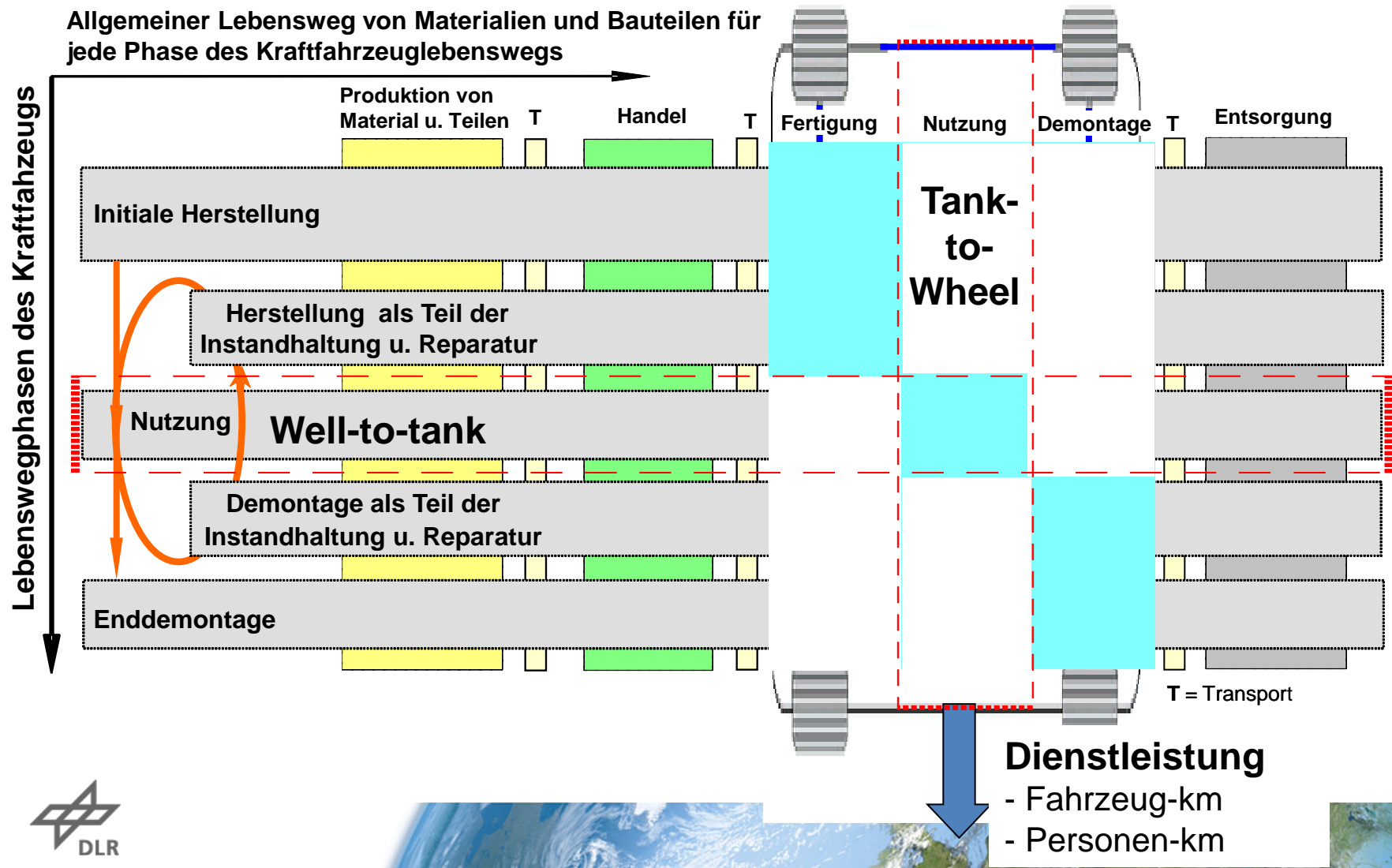


Produktsystem	Händeabtrocknen mit Papier	Händeabtrocknen mit warmer Luft
Funktion	Händeabtrocknen	
Funktionelle Einheit	Anzahl der zu trocknenden Händepaare	
Referenzfluss	Masse an trockenem Papier der zu trocknenden Händepaare (kg)	Volumen erwärmter Luft der zu trocknenden Händepaare (m³)



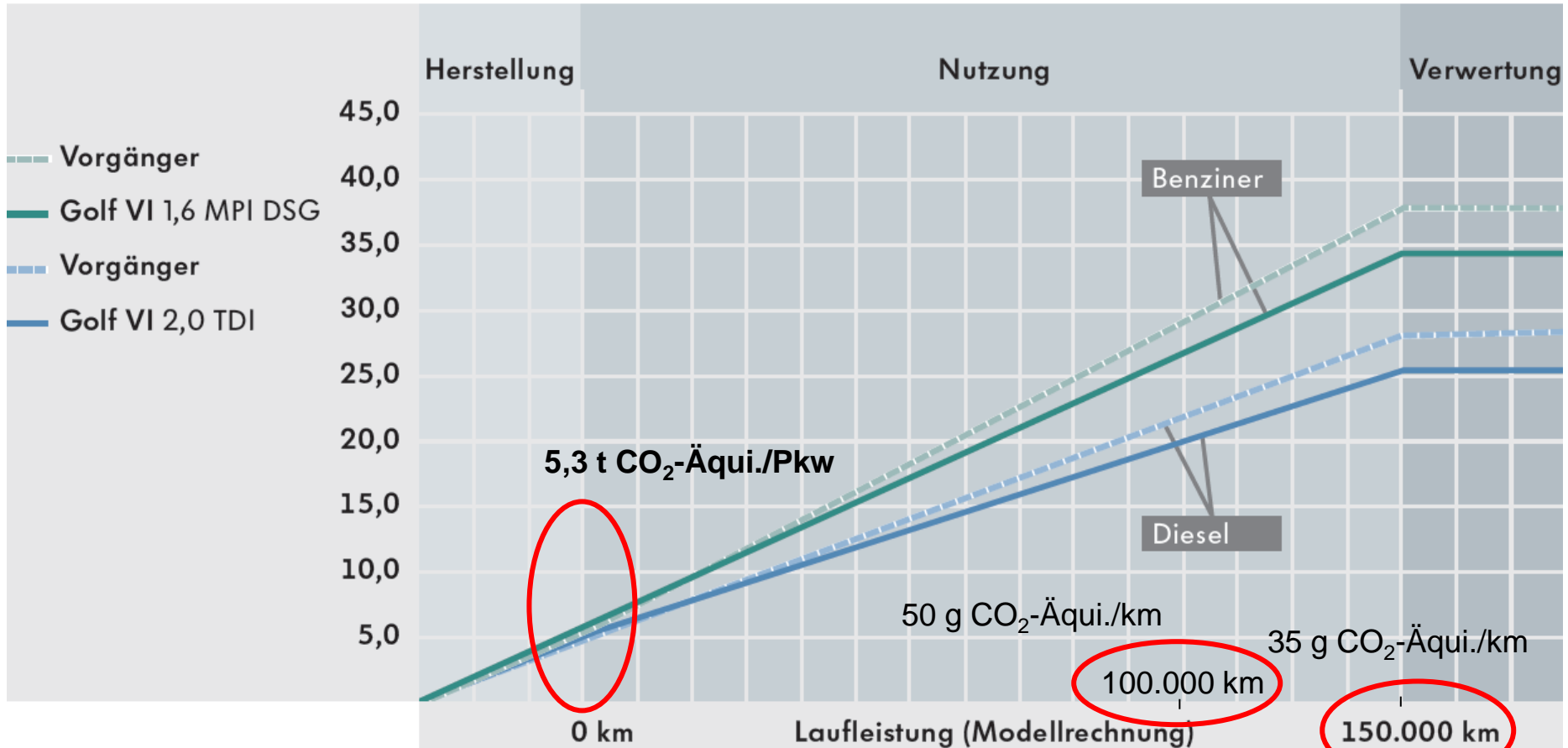
Vertikale und horizontale Systemgrenze des Kraftfahrzeuglebensweges

Allgemeiner Lebensweg von Materialien und Bauteilen für jede Phase des Kraftfahrzeuglebensweges



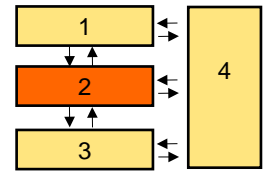
Bedeutung der Systemgrenzen

Vergleich der Wirkungen auf den Treibhauseffekt (CO₂-Äquivalente in t)



Quelle: VW: Der Golf – Umweltprädikat, Wolfsburg Stand Sept. 2008





Erstellung der Sachbilanz



■ Eigene Datenerhebung

- Strom- und Papierbedarf über Messungen

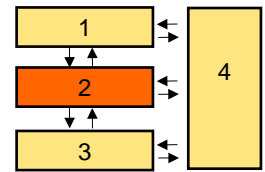
■ Literatur

- Forstwirtschaft zur Papierherstellung

■ Datenbanken

- Stromerzeugung, Papierherstellung, Forstwirtschaft
- Transport (Lkw, Schiff)
- ...





Ergebnis der Sachbilanz

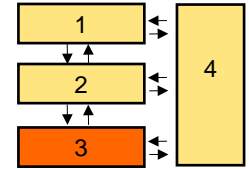
Input:			Output:		
Item	Quantity	Unit	Item	Quantity	Unit
▲ Fällungsmittel	0	kg	▲ NMVOC, fluor., unspez. (L)	0	kg
☐ Pestizide			▲ Perfluorethan (L)	0	kg
▲ Pestizide, unspez.	0.03	kg	▲ Perfluormethan (L)	0	kg
☐ Holz- und Zellstoffe			☐ NMVOC, nichthalog. (L) (L)		
☐ Holz			☐ Aldehyde (L) (L)		
▲ Holz, unspez.	9.12	kg	▲ Aldehyde, unspez. (L)	0	kg
☐ Kumulierter Energieaufwand (KEA)			▲ Formaldehyd (L)	0	kg
▲ KEA (Kernenergie)	104288.8	kJ	☐ Alkane (L) (L)		
▲ KEA (Wasserkraft)	404.95	kJ	▲ Hexan (L)	0	kg
▲ KEA, fossil gesamt	206158.1	kJ	☐ andere S (und O)-haltige Verb. (L) (L)		
▲ KEA, regenerativ	35.99	kJ	▲ Mercaptane (L)	0	kg
▲ KEA, sonst. regenerative	3080.2	kJ	☐ Aromatische Verbindungen (L) (L)		
▲ KEA, sonstige	5.97	kJ	☐ aromatische KW (L) (L)		
▲ KEA, unspez.	5.69	kJ	▲ Benzol (L)	0	kg
☐ Metalle			▲ Biphenyl (L)	0	kg
☐ NE-Metalle			▲ Toluol (L)	0	kg
▲ Chrom	0	kg	▲ Xylol (L)	0	kg
☐ Mineralien und Erze			☐ PAK (L) (L)		
▲ Calciumhydroxid	0	kg	▲ Acenaphtylen (L)	0	kg
▲ Graphit	0	kg	▲ Benzo(a)pyren (L)	0	kg
▲ Schwefel	0	kg	▲ Dibenzo(a)pyren (L)	0	kg
☐ Naturraum			▲ Fluoren (L)	0	kg
▲ Fläche K7 (BRD)	0	m**2	▲ Naphtalin (L)	0	kg
☐ Rohstoffe in Lagerstätten (RiL) (RiL)			▲ PAK ohne B(a)P (L)	0	kg
☐ Energieträger (RiL) (RiL)			▲ PAK, unspez. (L)	0	kg
▲ Erdgas (RiL)	1.1	kg	▲ Phenantren (L)	0	kg
▲ Erdöl (RiL)	0.5	kg	▲ NMVOC, unspez. (L)	0	kg
☐ Kohlen (RiL) (RiL)			▲ Stoffe, org., unspez. (L)	0	kg
▲ Braunkohle (RiL)	8.7	kg	▲ TOC (L)	0.02	kg
▲ Kohle, unspez. (RiL)	0	kg	▲ VOC (Kohlenwasserstoffe) (L)	0	kg

Ausschnitt

Input – Output Tabelle



Phase der Wirkungsabschätzung – Messbarkeit der Umweltveränderung



System: Kraftwerk - Produktion einer spezifischen Menge Strom



Sachbilanz

Mineralien und
fossile Brenn-
stoffe

Flächeninan-
spruchnahme
Transformation
und Okkupation

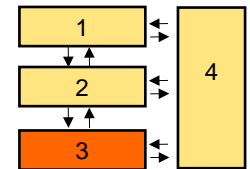
Emissionen

- NOx, SOx
- FCKW
- Nuklide
- PM, NMVOC
- Schwermetalle

Herstellung eines
funktionalen Zusam-
menhangs zwischen
den Daten der Sach-
bilanz (Elementarflüs-
se) und den Umwelt-
auswirkungen



Allgemeines Konzept der Wirkungskategorien



Midpoint Wirkkategorien

Umweltgüter

Endpoint Kategorien

Darstellung der Wirkungspfade über Wirkkategorien zu den Umweltgütern (Schadenskategorien)

Sachbilanz Ergebnisse

- Humantoxizität
- Unfälle
- Lärm
- Bildung von Photooxidantien
- Ozonzerstörung
- Klimaänderung
- Versauerung
- Eutrophierung
- Ökotoxizität
- Flächenbelegung und -umwandlung
- Zerstreuung von Spezies und Organismen
- Abiot. Ressourcenzerstörung
- Biot. Ressourcenzerstörung

Menschliche Gesundheit

Biotische & abiotische natürliche Umwelt

Biotische & abiotische natürliche Ressourcen

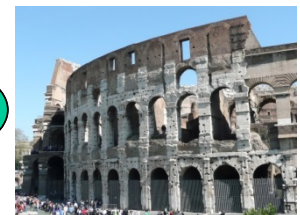
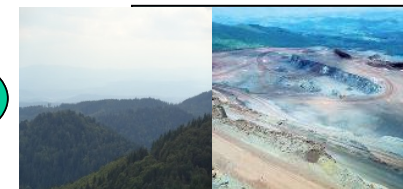
Biotische & abiotische Kulturlandschaft u. -gut



Quelle: Deutsche Krebsgesellschaft e.V., 2006



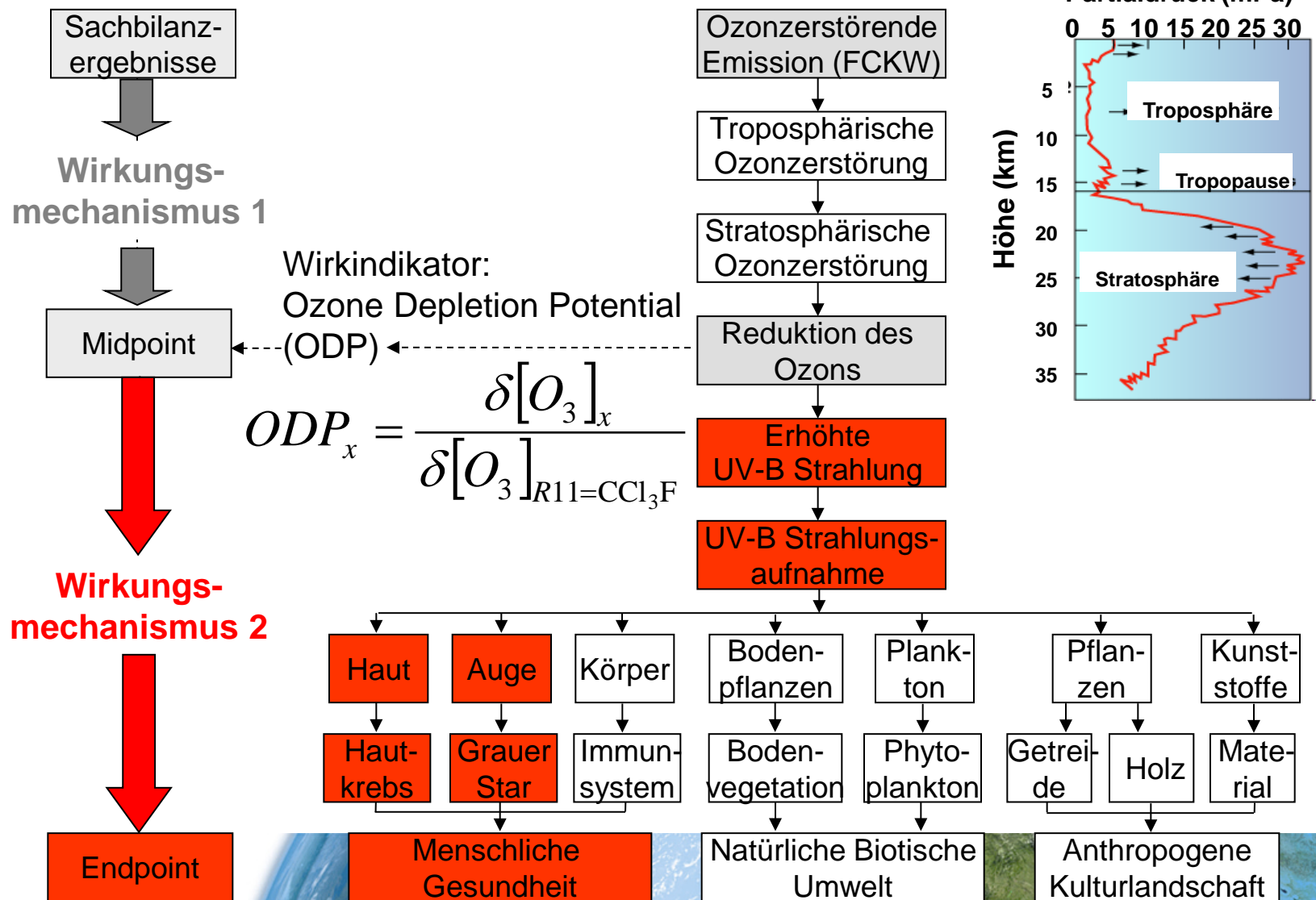
Quelle: Bund für Naturschutz, 2004

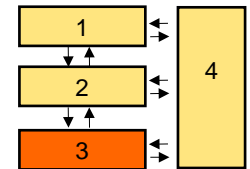


nach Jolliet et al.: The LCIA Midpoint-Damage Framework
Int. Journal of LCA 2004, Nr. 6 S. 395

Wirkungsmechanismus

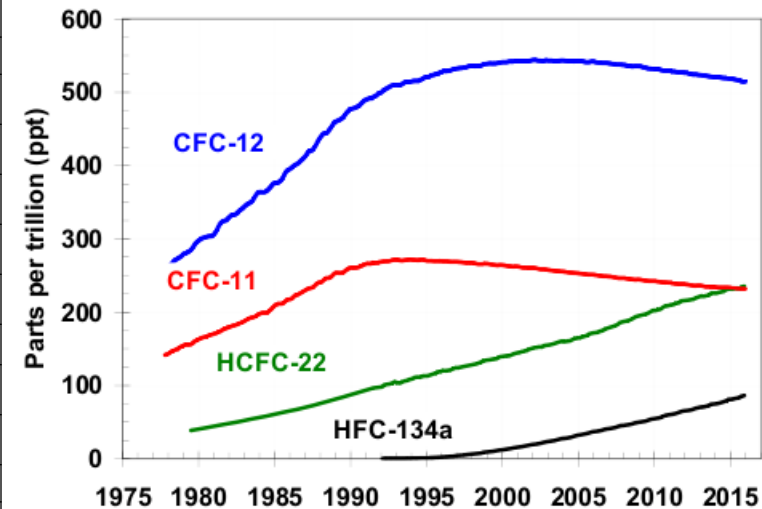
– Stratosphärische Ozonzerstörung





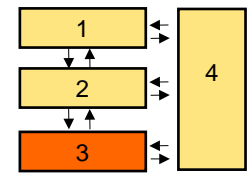
Ozonzerstörungspotential (ODP) verschiedener ozonzerstörender Substanzen

Ozonzerstörende Substanzen	Chemische Summenformel	Atmosphärische Verweilzeiten (in Jahren)	Ozonzerstörungspotential (in kg R11-Äquival.)
Trichlorethan	C_2HCl_3	0,55	0,12
FCKW R11 (Referenz)	CCl_3F	50	1
FCKW R12	CCl_2F_2	102	1
FCKW R113	$C_2HCl_2F_3$	85	1
FCKW R114	$C_2Cl_2F_4$	300	0,94
FCKW R115	C_2ClF_5	1700	0,44
HALON 1211	CF_2ClBr		6
HALON 1301	CF_3Br		12
H-FKW R134a	$C_2H_2F_4$		-
H-FCKW R22	$CHClF_2$		0,05
H-FCKW R141b	$C_2H_3Cl_2F$		0,12



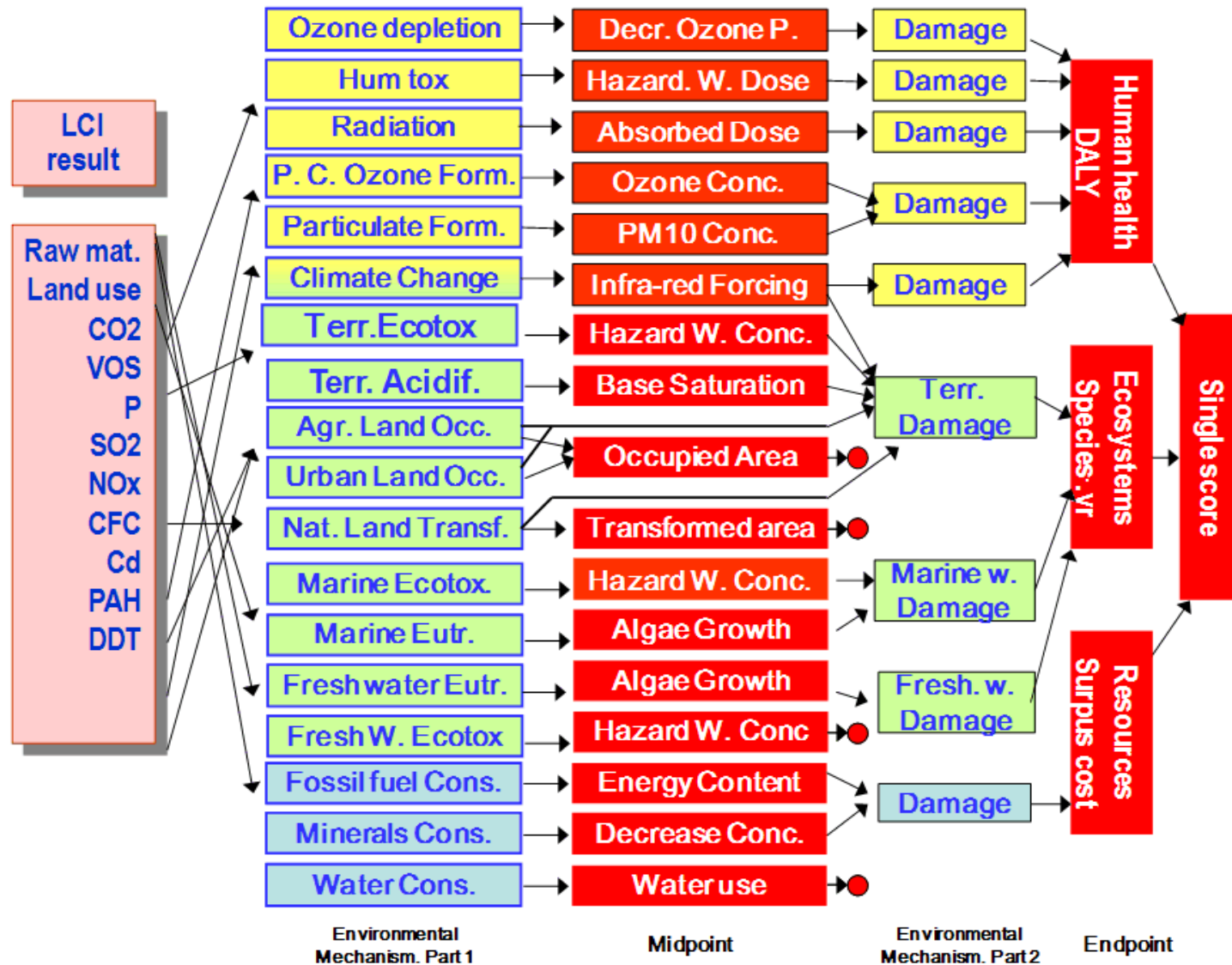
Quelle: National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/>





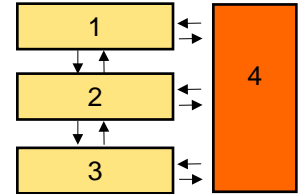
Wirkungsabschätzungsmethoden

- Integration von Mid- und Endpointwirkungspfaden



Phase der Auswertung

Auf Basis der erstellten Sachbilanz und Wirkungsabschätzung sowie der am Anfang festgelegten Zieldefinition sind folgende Schritte durchzuführen:

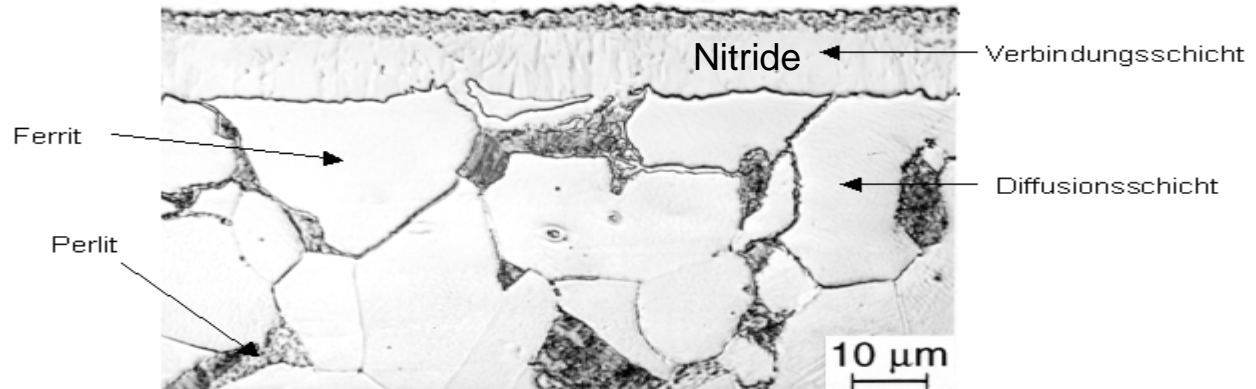


- Identifizierung der signifikanten Parameter auf der Grundlage der Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung
- Beurteilung der Ergebnisse mittels Berücksichtigung von Vollständigkeits-, Sensitivitäts- und Konsistenzprüfungen
- Schlussfolgerungen, Empfehlungen und Bericht über die signifikanten Parameter



Lebenszyklusanalyse von Nitrocarburierungsverfahren

Stick- und Kohlenstoff
als eingesetzte Medien
zum Randschichthärten



Allgemeiner Nutzen: Erhöhung der Bauteillebensdauer

Spezifischer Nutzen des Nitrocarburierens:

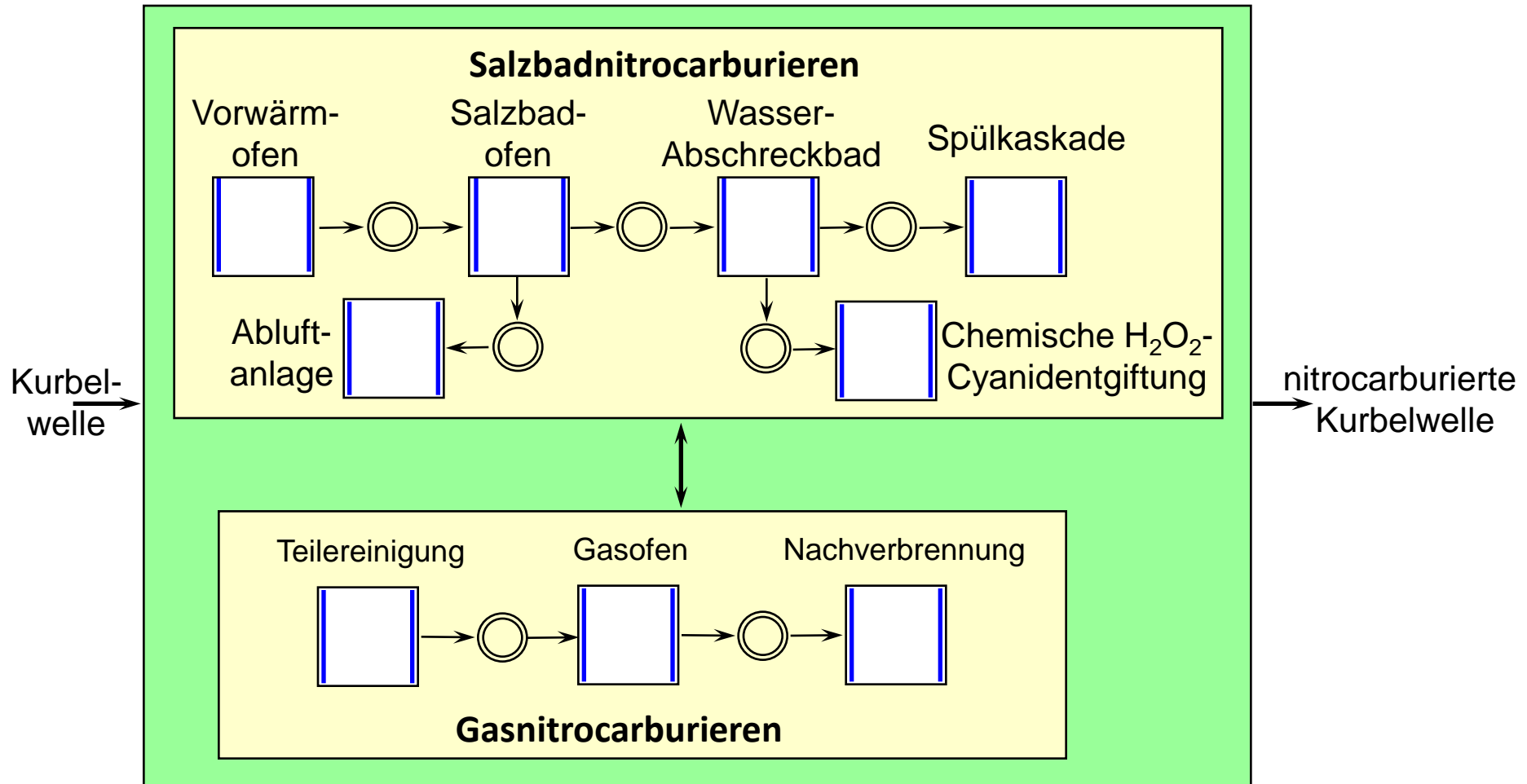
- Verschleiß- und Korrosionsschutz (Verbindungsschicht)
- Erhöhung der Schwingfestigkeit (Diffusionsschicht)

Indikatoren der spezifischen Nutzungsziele (Konstrukteur)

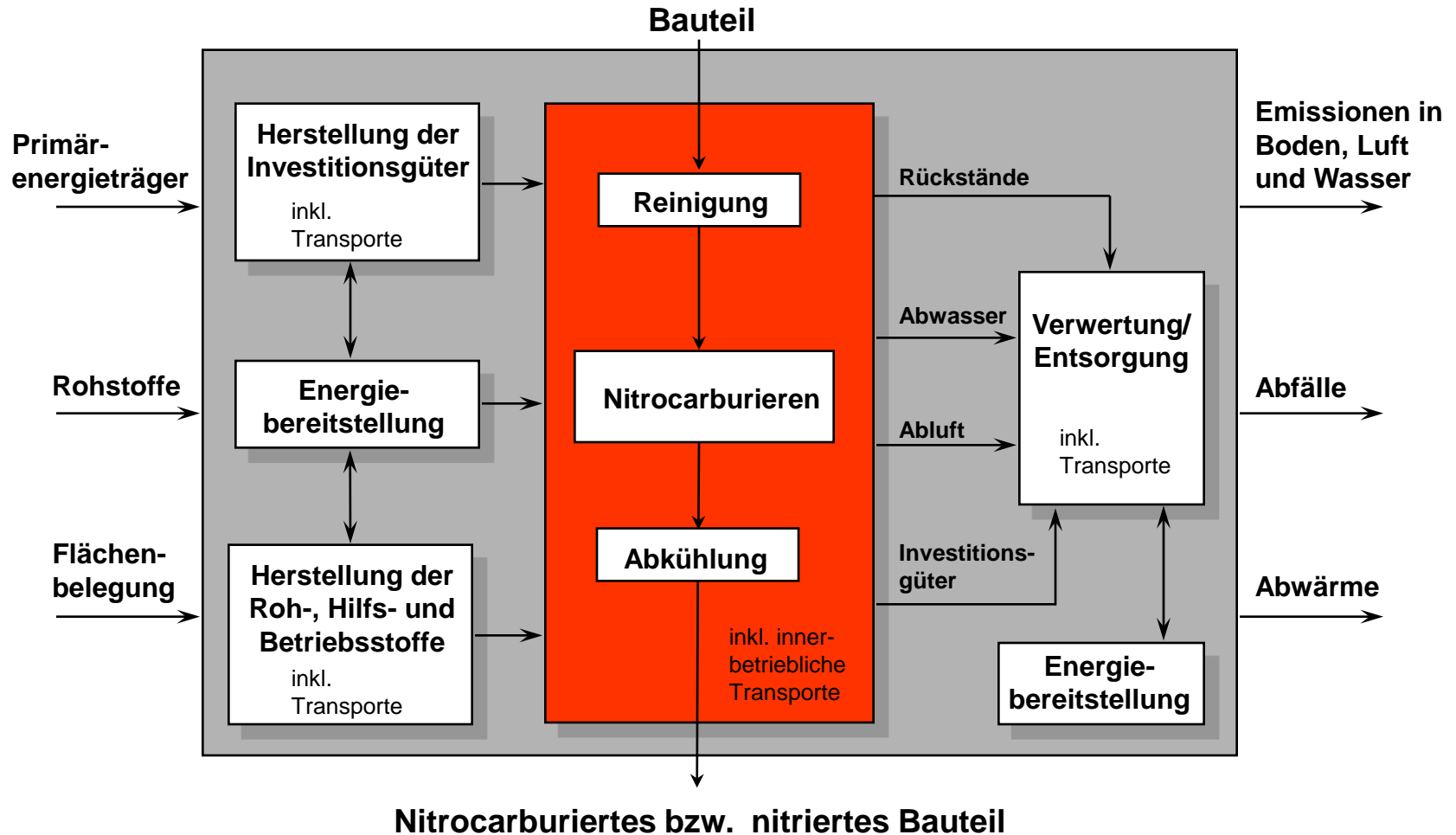
- Oberflächenhärte (DIN 50133 n. Vickers)
- Nitrierhärtetiefe (DIN 50190)
- Verbindungsschichtdicke (DIN 50950)



Beispiel Nitrocarburierverfahren - Vergleichende System



Beispiel Nitrocarburiervverfahren - Systemgrenzen



Beispiel Nitrocarburierverfahren

- Allgemeine und spezifische Randbedingungen

Referenzbauteil: Kurbelwelle aus 42 CrMo 4V, 135.000 Stück pro Jahr = 1390,5 t/a

Verbindungsschichtdicke: 10 - 20 μm

Spezifische Randbedingungen bei 75 % Auslastung der Anlagen:

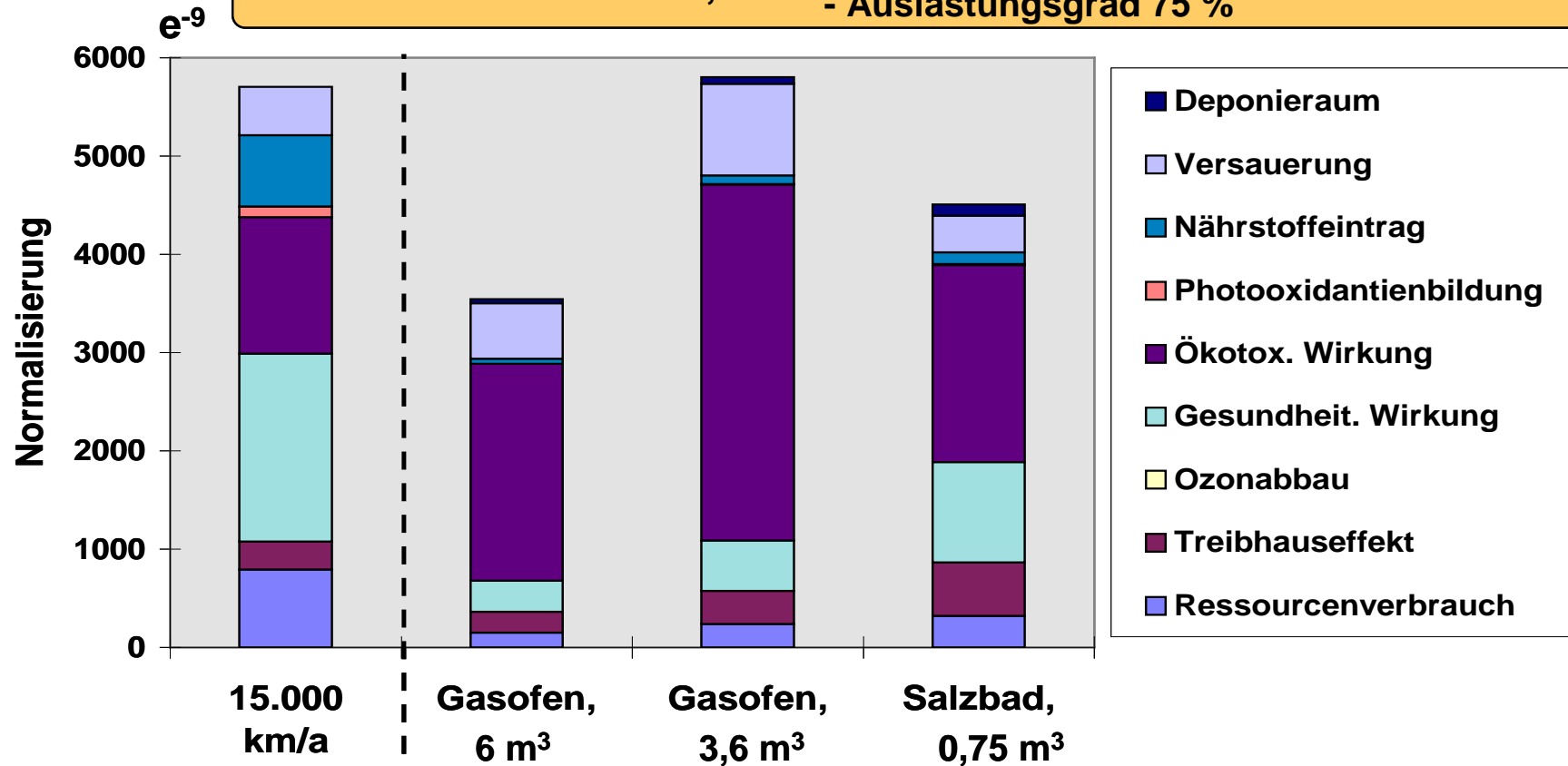
	Gasöfen		Salzbadofen (STT 80/150)
Ofenvolumen	3,6 m³	6 m³	0,75 m³
Verfahrensparameter			
Bauteilmasse pro Charge	2472 kg	5192 kg	515 kg
Aufwärmdauer	7 h	8 h	Vorwärmofen: 40 Min., Salzbadofen: 30 Min.
Haltezeit	6 h	6 h	1,33 h
Abkühlzeit	8 h	8 h	0,75 h
Chargenzyklus	22 h	24 h	2 h



Beispiel Nitrocarburierverfahren

- Ergebnisvergleich nach UBA-Methode

Bauteildurchsatz: 1390,5 t/a - Ohne Berücksichtigung der Bauteilreinigung
 - Auslastungsgrad 75 %

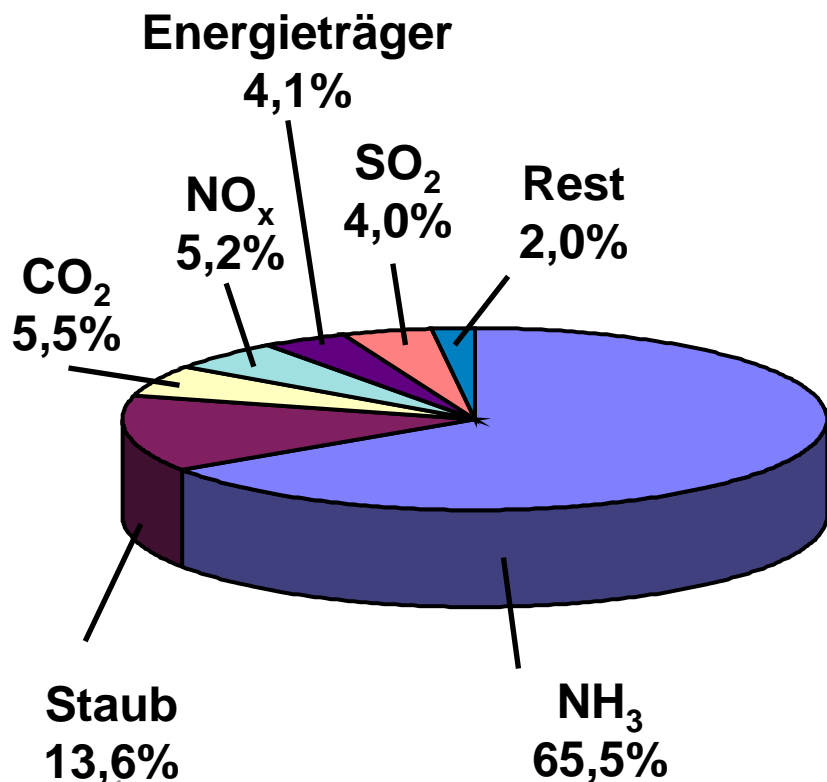


100 Pkw

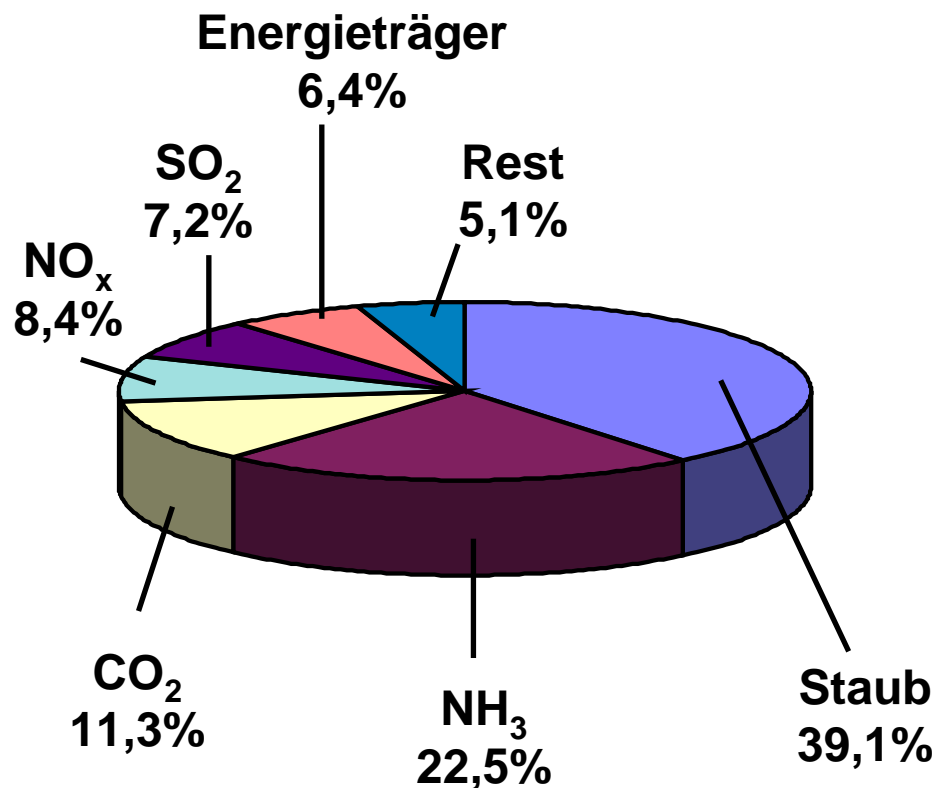


Beispiel Nitrocarburierungsverfahren - Sensitivitätsanalyse

Gasnitrocarburieren

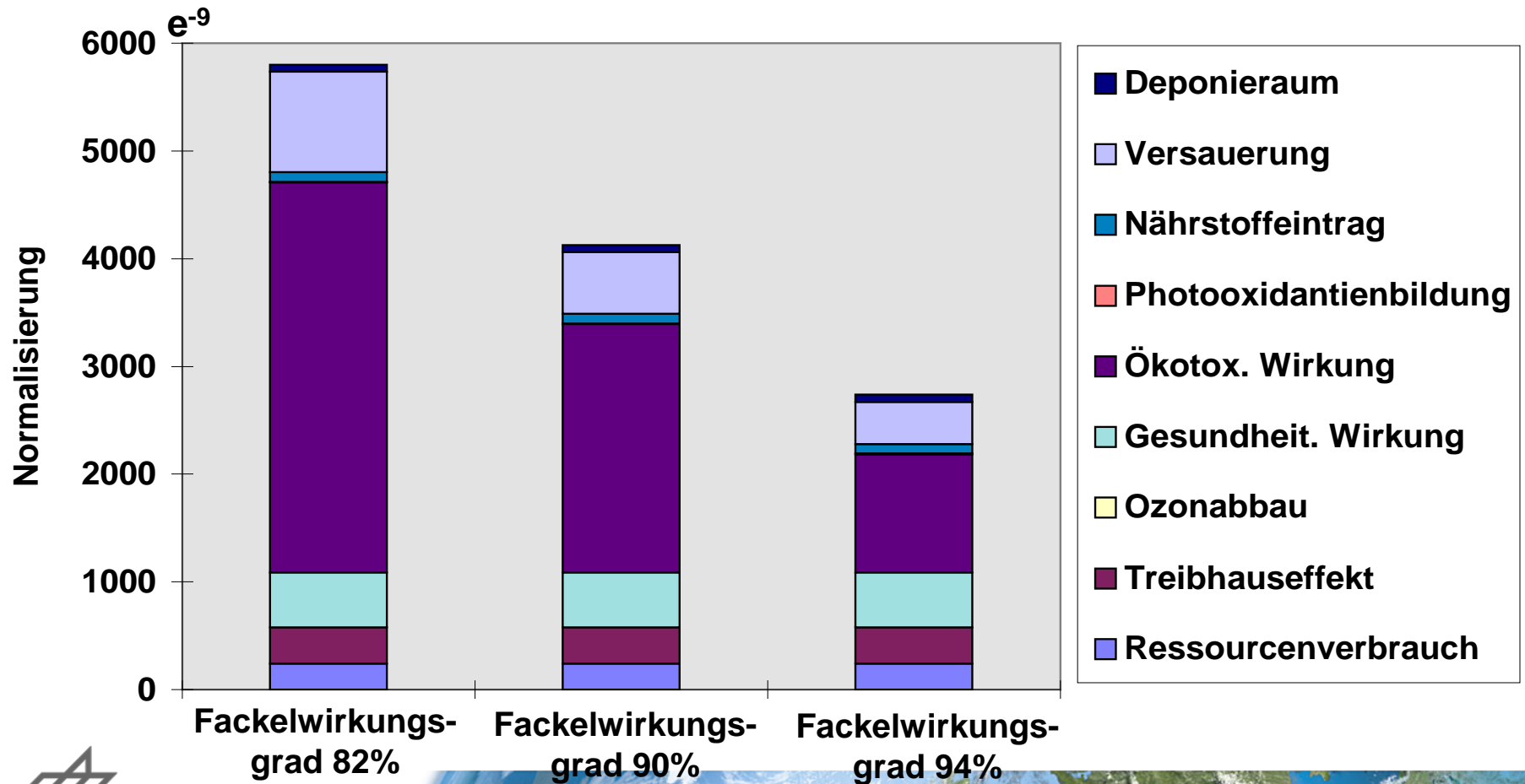


Salzbadnitrocarburieren



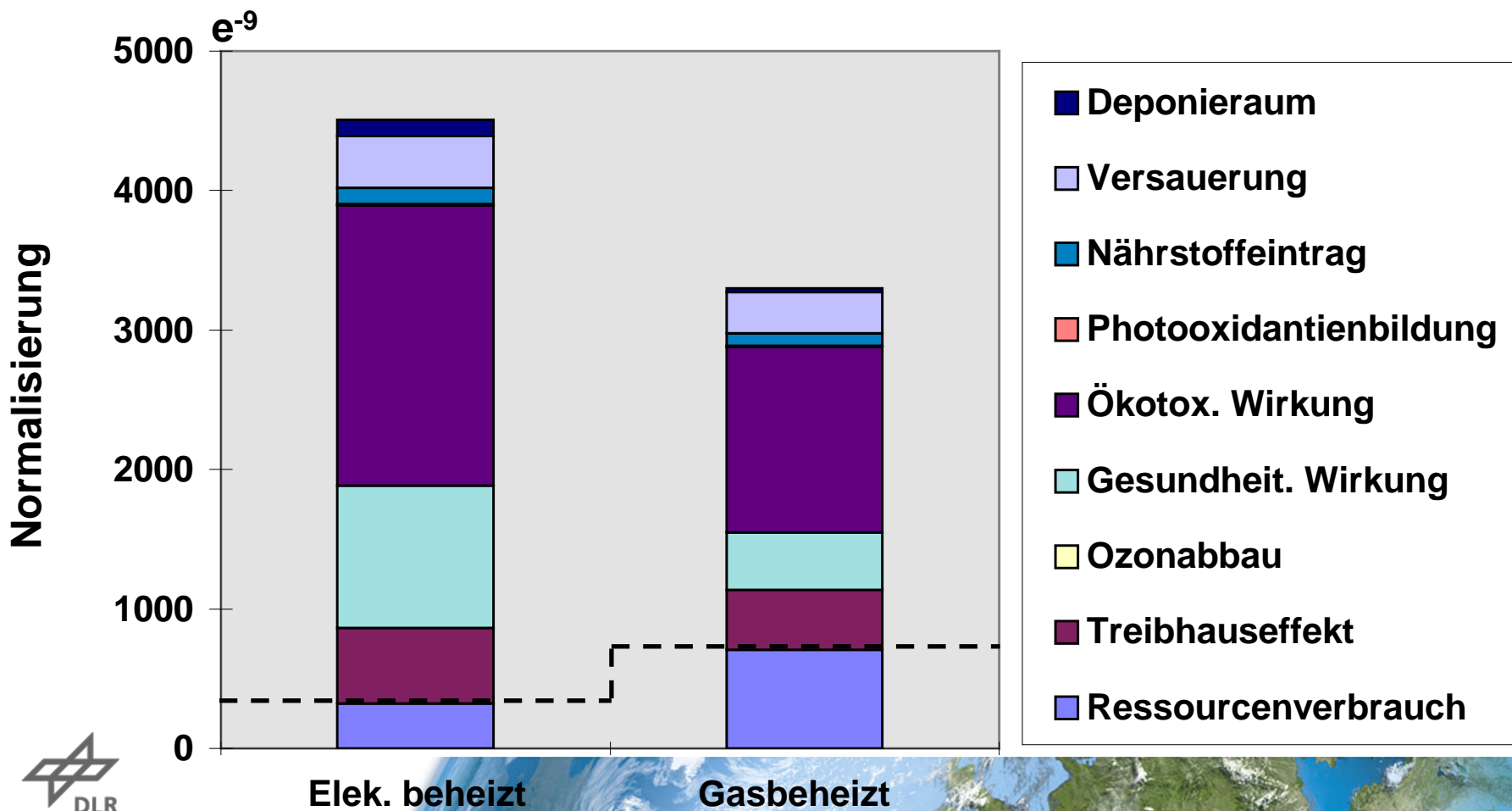
Gasnitrocarburieren - Vergleich unterschiedlicher NH₃-Zersetzungsgrade der thermischen Nachverbrennung

Gasofen 3,6 m³ bei einem Bauteildurchsatz von 1390,5 t/a



Salzbadnitrocarburieren - Vergleich unterschiedlicher Beheizungsalternativen

Salzbadofen 0,75 m³ bei einem Bauteildurchsatz von 1390,5 t/a



Grenzen der Lebenszyklusanalyse

- Relativer Ansatz, daher keine absolute Aussage zur Umweltverträglichkeit möglich
 - Aussage nur im Rahmen der Systemgrenzen unter den vorgegebenen Bedingungen gültig
 - Trifft generelle Aussagen. Daher eher nicht für spezifische lokale Fragestellungen geeignet
 - Angestrebt: tendenzielle Korrektheit und Richtungssicherheit.
- => Liefert keine einfache Antwort auf komplexe Fragestellungen



Zusammenfassung

- Die in der Diskussion stehenden Methoden zur Wirkungsabschätzung weisen strukturelle Unterschiede sowohl hinsichtlich der Umweltaspekte als auch zur quantitativen Bestimmung der Umweltauswirkung auf.
- Um die einzelnen Stärken der Methoden bei der Analyse zu berücksichtigen, wird empfohlen, mehrere Methoden zur Umweltwirkungsabschätzung einzusetzen.
- Die Lebenszyklusanalyse kann im Unternehmen
 - zur kurzfristigen Identifizierung von Umweltschwachstellen
 - zur Unterstützung des Umwelt- und Energiemanagements oder zur Erfüllung von Produktnormen (EU Öko-Design-Richtlinie, Umweltproduktdeklaration Typ III)
 - zur strategischen Ausrichtung der Produktentwicklung dienen.
- In der Regel sind mit der Beseitigung von Umweltlasten auch ökonomische Vorteile verbunden.



Weiterführende Literatur

- Einführung zum Thema: Ökobilanz
The hitchhiker's guide to LCA - Baumann, H. et al, ISBN: 9144023642

Ökobilanz (LCA) – Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf
Klöpper, Walter; Grahl, Birgit, Wiley-VCH, 2009
 - Methoden der Umweltbewertung technischer Systeme; Skript von Rolf Frischknecht ETH-Zürich, SS 2005:
<http://www.esu-services.ch/fileadmin/download/frischknecht-2005-ETH-Skript-LCA.zip>
 - Für die Wirkungsabschätzung:
Dutch Handbook on LCA (CML); Part 1 bis 3:
<http://www.cml.leiden.edu/research/industrialecology/researchprojects/finished/new-dutch-lca-guide.html>
- ReCiPe Methodology report:
<http://www.lcia-recipe.net/>

